



MILENA ŚWIERCZYŃSKA, BARTŁOMIEJ KOSMAŁSKI

Koło naukowe SUKCES

**Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki
Politechniki Łódzkiej**

Opiekun naukowy: dr inż. Dorota Siuda, mgr inż., Artur Lewandowski

LED – WPLYW NA JAKOŚĆ WIDZENIA I ZAGROŻENIA Z NIMI ZWIĄZANE

W dzisiejszych czasach oświetlenie w naszych domach, ulicach, biurach oraz galeriach handlowych stopniowo przekształcało się z konwencjonalnych żarówek do żarówek energooszczędnych, świetlówek, a obecnie rynek oświetleniowy zdominowały lampy LED. Wiąże się z tym dużo korzyści, takich jak lepsza skuteczność świetlna oraz oszczędność energii, która obecnie odgrywa ważną rolę w życiu każdego człowieka. Jednak należy zastanowić się, czy źródła LED, są źródłami idealnymi. W artykule omówione zostaną problemy związane z promieniowaniem jakie wydzielają LED-y oraz problemy z interpretacją współczynnika oddawania barw. Przeprowadzona zostanie analiza korzyści, wad i zagrożeń współczesnego oświetlenia.

WPROWADZENIE

Diody elektroluminescencyjne (LED – Light Emmiting Diode) to źródło światła, które zdominowało współczesny rynek oświetleniowy. Obok OLED, jest to najprężniej rozwijająca się technologia, która nie osiągnęła jeszcze szczytu swoich możliwości i wciąż jest odkrywana. Mówiąc o LED-ach, uważamy je za nowoczesne źródła światła, jednak technika ta powstała już na początku XX wieku. W 1907 roku brytyjski naukowiec Henry

Joseph Round odkrył zjawisko elektroluminescencji, którą zaobserwował w kryształach węglika krzemu (SiC). Dopiero w 1962 roku otrzymano pierwszą komercyjną diodę LED, która emitowała promieniowanie o barwie czerwonej. Jej autorem jest zespół specjalistów pod przewodnictwem Nicka Holonyaka Jr., który pracował w laboratorium General Electronics. Kolejne przełomowe losy rozwoju techniki LED-owej to rok 1993, w którym powstała dioda LED emitująca światło niebieskie. Twórca jest Japończyk Shuji Nakamura, który za swoje osiągnięcie został nagrodzony Nagrodą Nobla. Odkrycie to pozwoliło na zrewolucjonizowanie oświetlenia LED, przez uzyskanie brakującego elementu do powstania światła białego^{[1][2]}. Rys. 1 pokazuje diody emitujące światło czerwone (R), zielone (G) i niebieskie (B).

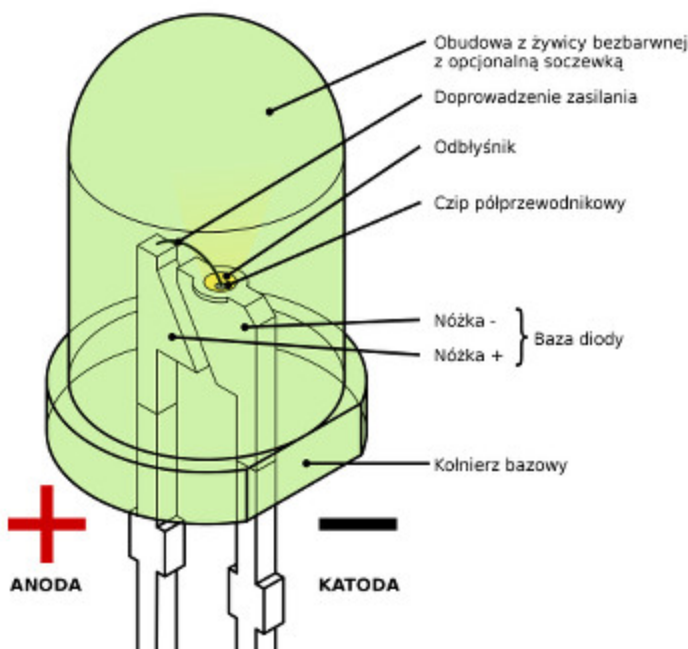


Rys. 1. Diody LED – zielona, czerwona i niebieska^[3]

Niestety do tej pory nie udało się otrzymać diody LED, która emitowałaby światło o barwie białej. W znanej nam współczesnej technologii, jak już wyżej wspomniano, światło niebieskie jest podstawą do otrzymania światła białego. Znane są metody, które pozwalają na uzyskanie tej barwy. Najczęściej dzieje się to za pomocą luminoforu, przez który jest przepuszczane promieniowanie diody o barwie niebieskiej. Druga z popularnych metod polega na mieszaniu światła z czipów LED o różnych barwach, co w efekcie daje światło o barwie białej^[1].

ZASADA DZIAŁANIA ORAZ BUDOWA DIODY LED

W skład budowy każdego źródła LED wchodzi jego najważniejszy element, czyli chip półprzewodnikowy, w którym po dostarczeniu energii elektrycznej otrzymujemy światło. Półprzewodniki najczęściej są zbudowane z kryształów krzemu, które są wzbogacone różnymi dodatkami. Kryształ w diodzie elektroluminescencyjnej składa się z dwóch warstw. Pierwsza z nich to warstwa „n”, w której znajduje się duża ilość elektronów. Druga składowa to warstwa „p”, w której występują, tzw. dziury. Na rys. 2 została przedstawiona budowa diody elektroluminescencyjnej. Rdzeń diody, czyli chip półprzewodnikowy, jest często osłonięty obudową wykonaną z bezbarwnej żywicy. Obudowany jest kołnierzem bazowym, do którego wchodzi katoda i anoda^[4].



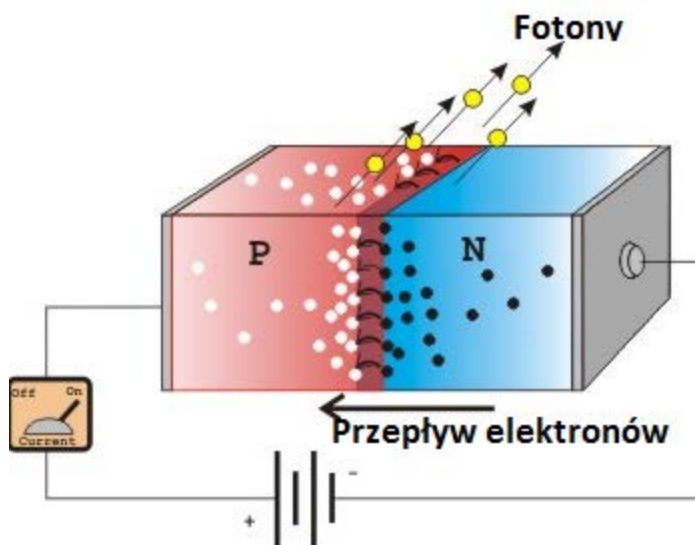
Rys. 2. Budowa diody elektroluminescencyjnej^[4]

Diody LED działają na zasadzie zjawiska elektroluminescencji. W uproszczeniu mechanizm działania, który jest ukazany na rys. 3, przebiega następująco:

- nośniki (elektrony i dziury), przepływają wraz z prądem elektrycznym, poprzez reakcje rekombinacji promienistej,
- w czasie reakcji wytrącana jest część energii w postaci fotonu (cząstka światła),
- fotony to czynniki, dzięki którym możemy obserwować światło.

Długość fali świetlnej definiuje poziom energii fotonów – im większa energia fotonu tym mniejsza długość fali.

Zaistniały proces ma miejsce w złączu p-n w spolaryzowanym kierunku przewodzenia^[5] Światło jakie jest emitowane przez źródło diody LED ma bardzo wąski zakres widma. Oznacza to, że są to źródła promieniowania monochromatycznego. Białe światło, które odczuwa obserwator jest jedynie doznaniem wzrokowym. Zjawisko to powstaje w wyniku stymulacji siatkówki gałki ocznej promieniowaniem o częstotliwościach, które odpowiadają za czułość komórek oka dla pełnego spektrum promieniowania widzialnego^[6].



Rys. 3. Zasada działania diody LED^[7]



ZALETY ŹRÓDŁEŁ LED

Technologie dzisiejszych czasów ciągle dążą do jak najmniejszego zanieczyszczenia środowiska oraz ograniczenia wydatków na potrzeby konieczne, takie jak energia elektryczna. Pierwszą z zalet diod LED, wyróżniającą je na tle innych źródeł światła jest **skuteczność świetlna**. Parametr ten definiuje stosunek strumienia świetlnego [lm] wyemitowanego przez źródło do pobranej energii, wynosi od 26 do 303 lm/W (zależny od jakości diody LED). Dla porównania konwencjonalna żarówka wolframowa posiada skuteczność świetlną na poziomie 8-20 lm/W^{[8][9]}.

Kolejną przewagą diod elektroluminescencyjnych jest ich **wytrzymałość mechaniczna**. Są one zdecydowanie bardziej odporne na wibracje oraz uderzenia. Spowodowane jest to użytymi do produkcji materiałami, tj. aluminium i tworzywa sztuczne, które odznaczają się wyższą wytrzymałością od szkła, czyli materiału użytego do produkcji m.in. żarówek i świetlówek^{[5][10]}.

Niewielkie rozmiary diod LED dają duże możliwości montażu w miejscach, w których jest bardzo mało miejsca oraz liczy się trwałość źródła, np.: w telefonach komórkowych. Może być to wykorzystane w celach dekoracyjnych lub architektonicznych.

Czas, w którym źródło światła osiąga pełnię swojej światłości, to kolejny parametr, którym mogą się pochwalić źródła LED. Czas, który potrzebny jest na włączenie, wynosi 100 ns, a wyłączenie 200 ns. Żarówka, która do pojawienia się źródeł elektroluminescencyjnych była rekordzistką w porównaniu ze źródłem LED, potrzebuje około 2 miliony razy więcej czasu (ok. 200 ms). Czasy dla źródeł wyładowczych oraz fluorescencyjnych są nieporównywalnie dłuższe, trwają nawet do kilku minut^[5].

Trwałość diod elektroluminescencyjnych jest na dużo wyższym poziomie niż diod fluorescencyjnych, a tym bardziej żarowych źródeł światła, producenci szacują żywotność na około 10-100 tysięcy godzin pracy. Ciekawostką jest fakt, że nie jest to czas po jakim diody nagle przestaną świecić jak przepalona żarówka. Diody LED wraz z upływem czasu tracą



swoją jasność. Producenci przyjmują, że czas pracy diod, który podają w kartach katalogowych dotyczy okresu, w którym dioda posiada do 70% swojej jasności. Kiedy jej skuteczność spadnie poniżej tego poziomu dioda kwalifikuje się do wymiany na nową. Z tego wynika, że dobrze wykonane diody LED mogą nam świecić dłużej niż zapewnia producent, jednak trzeba się liczyć z tym, że skuteczność świetlna będzie osiągała coraz niższy poziom^[11].

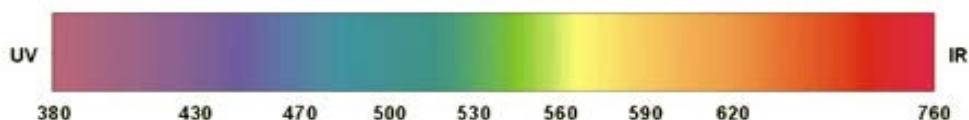
NEGATYWNE ODDZIAŁYWANIE ŚWIATŁA NIEBIESKIEGO

Promieniowanie optyczne towarzyszy człowiekowi oraz naturze od zawsze. Potrzebne jest nam ono do życia i to właśnie dzięki niemu świat postrzegamy w różnych kolorach. Obecnie sztuczne źródła promieniowania optycznego są wykorzystywane w medycynie, kosmetyce oraz nauce. W zależności w jakiej dziedzinie i do jakich celów ma zostać wykorzystane promieniowanie, różni się jego zakres fali. W tym celu przez Międzynarodową Komisję Oświeceniową zostały opracowane granice obszarów promieniowania, widoczne w tab. 1^[12].

Tab. 1. Granice obszarów promieniowania optycznego

zakres	wg CIE [7]		w chemii (w spektroskopii)		w fizyce, w technice	
	nazwa	przedział dł.fali	nazwa	przedział dł.fali	nazwa	przedział dł.fali
UV	UVC	100 nm do 280 nm	próżniowy	3 nm do 30 nm	daleki	10 nm do 180 nm
	UVB	280 nm do 315 nm	średni	30 nm do 200 nm	próżniowy	180 nm do 300 nm
	UVA	315 nm do 380 nm	bliski	200 nm do 400 nm	bliski	300 nm do 400 nm
VIS	światło	380 nm do 780 nm	światło	400 nm do 800 nm	światło	400 nm do 760 nm
IR	IRA	780 nm do 1,4 μm	bliska	800 nm do 3 μm	bliska	760 nm do 1,5 μm
	IRB	1,4 μm do 3 μm	średnia	3 μm do 30 μm	średnia	2,5 μm do 50 μm
	IRC	3 μm do 1mm	daleka	30 μm do 300 μm	daleka	50 μm do 2 mm

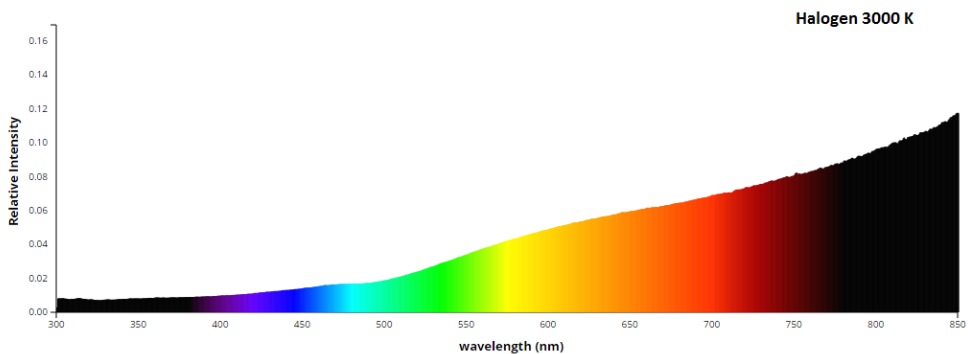
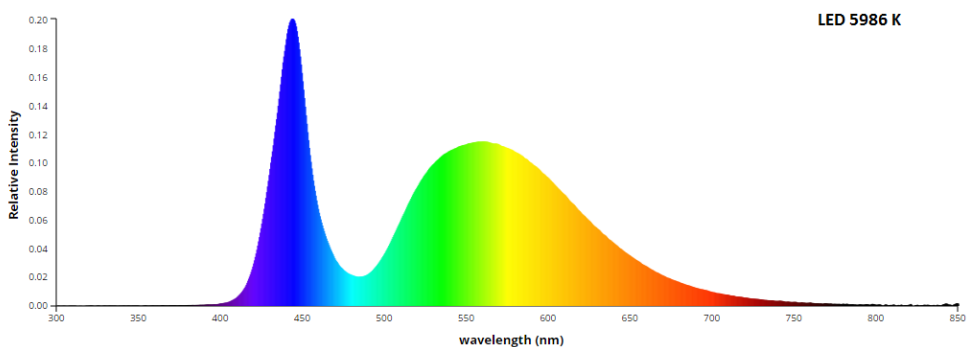
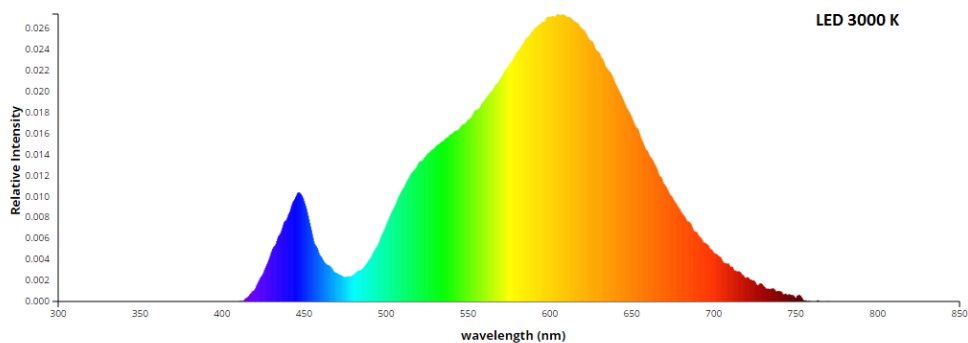
Z kolei, na rys. 4 ukazany jest zakres promieniowania widzialnego, który mieści się w przedziale 380-780 nm.



Rys. 4. Zakres promieniowania widzialnego^[13]

Światło niebieskie, które wchodzi w skład promieniowania widzialnego zawiera się w przedziale od ok. 380 do ok. 500 nm^[14]. Ma największe znaczenie w oddziaływaniu na pozawzrokową reakcję organizmu, przez hamowanie wydzielania hormonu zwanego melatoniną. Hormon ten odpowiedzialny jest za uczucie senności u człowieka^{[16][15]}. Problem ten dotyczy głównie promieniowania z zakresu 465-470 nm, przy którym hamowanie wydzielania hormonu snu jest maksymalne. Wielu pracodawców wykorzystuje fakt, że światło niebieskie ma znaczący wpływ na senność, czujność i termoregulację człowieka. Zjawisko to jest wykorzystywane w przypadku pracowników, którzy pracują w systemach zmianowych. Pracownicy poddawani są oddziaływaniu na światło o barwie niebieskiej. Przeprowadzono badania, w których porównano czujność oraz wydolność wzrokową pracowników przy oświetleniu światłem o temperaturze barwowej: 3000 K, 4000 K i 6500 K. Wyniki badania wykazały, że światło o największej temperaturze barwowej w zestawieniu, znacznie zwiększa wydolność wzrokową oraz poziom czujności pracowników. Jest to spowodowane zwiększonym udziałem promieniowania w zakresie 450-470 nm. Najlepiej przedstawia to zestawienie porównawcze wykresów widmowych źródeł światła: Philips PAR 20 Flood (LED 3000 K), Ledtech PAR20 (LED 5896 K) oraz dodatkowo wykres widmowy źródła żarowego: Sandard PAR38 Icepar (Halogen 3000 K) na rys. 5^{[16][17]}.

Podniesienie poziomu czujności pracowników przy użyciu światła niebieskiego wiąże się z negatywnymi skutkami wpływającymi na zdrowie człowieka. Występują informacje, z których wynika, że zwiększone jest ryzyko wystąpienia nowotworu piersi w gronie kobiet, które pracują w godzinach nocnych^{[16][18]}. Promieniowanie niebieskie jest również zwiększonym zagrożeniem dla siatkówki oka człowieka, ponieważ skutki szkodliwe, które wywołuje promieniowanie widzialne mają największą skuteczność w zakresie światła niebieskiego^{[16][19]}.

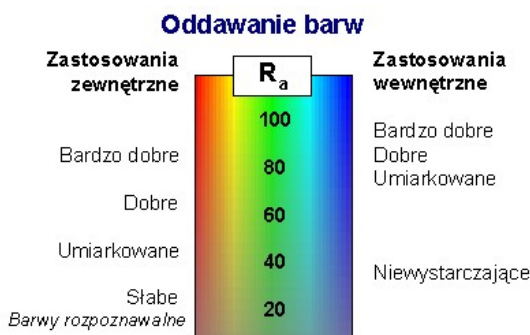


Rys. 5. Porównanie wykresów widmowych źródeł światła LED i żarowych o różnych temperaturach barwowych^[17]

PROBLEMY Z INTERPRETACJĄ WSKAŹNIKA ODDAWANIA BARW

Już od początku istnienia ludzkości dążono do tego, aby rozświetlić ciemności i mroki nocy. Długość dnia była uzależniona od wschodu i zachodu słońca, lecz człowiek czuł potrzebę bytowania po zmierzchu. Żeby dostrzec obiekt jest konieczne wystąpienie różnicy luminancji lub barwy, inaczej mówiąc, potrzebny jest kontrast między przedmiotem i jego tłem. Jak już wcześniej wspomniano, fizjologia człowieka pozwala na obserwowanie światła w zakresie długości fali od 380 nm do 780 nm. Ludzkie oko jest w stanie rozróżnić do kilku milionów barw. Percepcję barwy umożliwiają zawarte w oku światłoczułe receptory – czopki. Pręciki odpowiadają za widzenie jaskrawości przy bardzo małej ilości światła. Jest to widzenie skotopowe. Przy takim widzeniu człowiek nie posiada zdolności rozróżniania barwy. Widzenie fotopowe, czyli dzienne jest możliwe dzięki czopkom. W oku znajdują się trzy rodzaje czopków: niebieskie (S), zielone (M) i czerwone (L). Każdy rodzaj tych receptorów posiada zakres długości fali, na który przypada jego maksimum absorpcji^{[15][20]}.

Parametrem źródeł światła, który określa zdolność do postrzegania barw jest wskaźnik oddawania barw R_a (ang. CRI – Colour Rendering Index). Wyrażany jest wartością od 0 do 100. Im współczynnik jest wyższy tym oddawanie barw jest lepsze.



Rys. 6. Wrażenie barwy w zależności od stopnia oddawania barw przez źródło światła^[21]

Na rysunku 6 została przedstawiona zależność wrażenia barwy od stopnia oddawania barw przez źródło światła dla oświetlenia zewnętrznego i oświetlenia wewnątrz.

Zgodnie z obowiązującą normą dotyczącą oświetlenia miejsc pracy we wnętrzach, pomieszczenia w których wykonywana jest praca powinny posiadać wskaźnik oddawania barw na poziomie minimum 80^[22].

Wskaźniki oddawania barw określa się na podstawie 14 próbek barwnych z atlasu Munsella, ukazanych na rys. 7.

próbka	oznaczenie w atlasie Munsella	barwa próbki w świetle dziennym
TCS01	7,5 R 6/4	jasno szaro-czerwona
TCS02	5 Y 6/4	ciemno szarawo żółta
TCS03	5 GY 6/8	nasycona żółto-zielona
TCS04	2,5 G 6/6	średnio żółto-zielony
TCS05	10 BG 6/4	niebieskawo zielona
TCS06	5 PB 6/8	jasno niebieska
TCS07	2,5 P 6/8	jasny fioletowa
TCS08	10 P 6/8	czerwono fioletowa
TCS09	4,5 R 4/13	nasycona czerwona
TCS10	5 Y 8/10	nasycona żółta
TCS11	4,5 G 5/8	nasycona zielona
TCS12	3 PB 3/11	nasycona niebieska
TCS13	5 YR 8/4	żółtawo-różowa
TCS14	5 GY 4/4	oliwkowa

Rys. 7. Zestawienie próbek barwnych z atlasu Munsella, użytych do wyznaczania wskaźnika oddawania barw^[23]

Wartość Ra określamy na podstawie porównania wrażenia barwy próbek testowych oświetlanych badanym źródłem światła oraz oświetlania tych samych próbek źródłem światła odniesienia. Wzorzec światła inaczej iluminant zależy od temperatury barwowej danego źródła światła. Na rys. 7 pokazane są próbki 8 podstawowych i 6 dodatkowych. Na podstawie pierwszych 8 wzorców oblicza się ogólny wskaźnik oddawania barw. Pozostałe służą do wyliczenia dodatkowego wskaźnika oddawania barw Ri. Badania dowiodły, że źródła światła LED mają problem z oddawaniem barw



dla próbki oznaczanej symbolem R9. W tym przypadku wartość współczynnika oddawania barw R_a może przyjmować wartość ujemną. Ponadto, występują diody LED, które mimo tego, że posiadają wartość ujemną dla szczegółowego wskaźnika oddawania barw R9, a ich ogólny wskaźnik oddawania barw wynosi mniej niż 80 oddają barwy bardzo dobrze. Podsumowując, wysoka wartość ogólnego wskaźnika oddawania barw nie gwarantuje dobrej jakości oddawania barw dla oświetlenia LED-owego. W dokumentach wydanych przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową CIE określono rodzaje źródeł światła, w których można stosować wskaźnik oddawania barw R_a . W dokumencie tym nie ma wzmianki o źródłach LED-owych. Powodem tego jest fakt, że dokument został wydany przed stosowaniem źródeł LED w oświetleniu. Nie jest jasno określone jaki parametr powinien być używany dla LED-ów. Z racji tego, iż wskaźnik R_a był stosowany powszechnie, producenci przyjęli go również dla tej technologii. Problem został zauważony i już na terenie USA Illuminating Engineering Society wprowadziło dodatkowy parametr CQS (ang. Coulor Quality Scale), służący do oceny oddawania barw^{[20][24]}.

PODSUMOWANIE

Problem związany z zagrożeniem światłem niebieskim, można zredukować przez stosowanie źródeł światła LED o niższej temperaturze barwowej. Pracodawcy którzy w swoich zakładach pracy instalują oświetlenie LED o temperaturze barwowej wyższej niż 5000 K, powinni zdawać sobie sprawę, że narażają pracowników, a szczególnie kobiety, na oddziaływanie światła niebieskiego, które może doprowadzić do ciężkich schorzeń. Kolejny problem, z którym zmagają się LED-y wynika z interpretacji koloru czerwonego, który jest główną barwą stosowaną w oznakowaniu dróg ewakuacyjnych i znakach bezpieczeństwa. Diody LED są alternatywą dla konwencjonalnych źródeł światła, mimo iż mogą stwarzać dodatkowe zagrożenie dla człowieka. Dają również możliwość zredukowania skutków ubocznych. Niestety, nie wszystkie diody elektroluminescencyjne powinny być wykorzystywane do oświetlenia ogólnego.



BIBLIOGRAFIA

- [1] Górczewska M., *LED – podstawowe parametry, kierunki rozwoju, Oświetlenie elektryczne*, nr 179, ss. 26-32.
- [2] <http://www.neoled.pl>
- [3] WikimediaCommons
- [4] <https://enterius.eu/oswietlenie-led-porady/budowa-dzialanie-diody-led/>
- [5] Siłacz Ł., *Współczesne zastosowania diod elektroluminescencyjnych*, http://etacar.put.poznan.pl/jan.deskur/EN_n3_09/Diody_LED.pdf
- [6] Wantuch A., Jankowski M., *Elektryczne źródła światła – wpływ na zdrowie człowieka, Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 92 Nr 3, 2016.
- [7] <https://enterius.eu/oswietlenie-led-porady/budowa-dzialanie-diody-led/>
- [8] <http://cmf.p.lodz.pl>
- [9] <http://www.cree.com>
- [10] <http://www.tecoled.com.pl>
- [11] <https://enterius.eu/oswietlenie-led-porady/zalety-i-wady-oswietlenia-led/>
- [12] Kolek Z., *Oddziaływanie promieniowania optycznego na człowieka korzystny wpływ i zagrożenia*, 2006 r.
- [13] www.seka.ciop.pl/pl/2387/oswietlenie
- [14] Blue Light Hazard: New Knowledge, New Approaches to Maintaining Ocular Health, Report of a Roundtable – USA, New York City 2013 r.
- [15] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Melatonina>
- [16] Wolska A., Zużewicz K., *Barwa światła a poziom czułości człowieka, Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R.91, Nr 7, 2015, 2015 r.
- [17] <http://galileo.graphyics.cegepsheerbrook.qc.ca/app/en/lamps/>
- [18] Richter K., Acker J., Kamcev N., Bajraktarov S., Piehl A., Niklewski G., *Recommendations for the prevention of breast cancer in shift workers, EPMA Journal*, 2011; 2: 351-356.
- [19] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z 27 maja 2010 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne (tekst jednolity Dz.U. z 2013, poz. 1619).
- [20] Fryc I., Fryc J., Wąsowski K.A., *Rozważania o jakości oddawania barw źródeł światła, wyrażanej wskaźnikiem Ra (CRI), uwzględniające*



fizjologię widzenia oraz zagadnienia techniczno-prawne, Przegląd Elektrotechniczny, nr 2, 2016, ss. 218-223.

- [21] <http://www.swiatlo.tak.pl>
- [22] PN-EN 12464-1:2012 Światło i oświetlenie – Oświetlenie miejsc pracy – Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach.
- [23] Albert H. Munsell, *Atlas of the Munsell Color System* (1915).
- [24] <https://proline.pl>